



(19)

Europäisches Patentamt

European Patent Office

Office européen des brevets



(11)

EP 1 445 670 A1

(12)

DEMANDE DE BREVET EUROPÉEN

(43) Date de publication:
11.08.2004 Bulletin 2004/33

(51) Int Cl.⁷: G04B 17/06, G04B 17/04,
G04B 17/22, G03F 7/34,
G03C 1/805, G03F 7/09,
G04C 3/06

(21) Numéro de dépôt: 03075362.8

(22) Date de dépôt: 06.02.2003

(84) Etats contractants désignés:
AT BE BG CH CY CZ DE DK EE ES FI FR GB GR
HU IE IT LI LU MC NL PT SE SI SK TR
Etats d'extension désignés:
AL LT LV MK RO

(72) Inventeurs:
• Thierry Conus
2543 Lengnau (CH)
• Trümpy, Kaspar
4500 Soleure (CH)

(71) Demandeur: ETA SA Manufacture Horlogère
Suisse
2540 Grenchen (CH)

(74) Mandataire: Théronde, Gérard Raymond
I C B
Ingénieurs Conseils en Brevets SA
Rue des Sors 7
2074 Marin (CH)

(54) Spiral de résonateur balancier-spiral et son procédé de fabrication

(57) Le spiral (10) comporte des spires de section rectangulaire ($h \times e$), dont le pas p et/ou l'épaisseur e peut varier depuis la courbe à l'intérieur (11) jusqu'à la courbe à l'extérieur (14), ou dont l'enroulement peut s'écarte du tracé d'une spirale parfaite. La courbe à l'in-

térieur (11) peut en outre être prolongée par une rondelle autobloquante (17) permettant une fixation sans jeu du spiral sur l'axe du balancier.

Le spiral est fabriqué par photolithographie et croissance galvanique, ou par micro-usinage d'un matériau amorphe ou cristallin, tel qu'une plaquette de silicium.

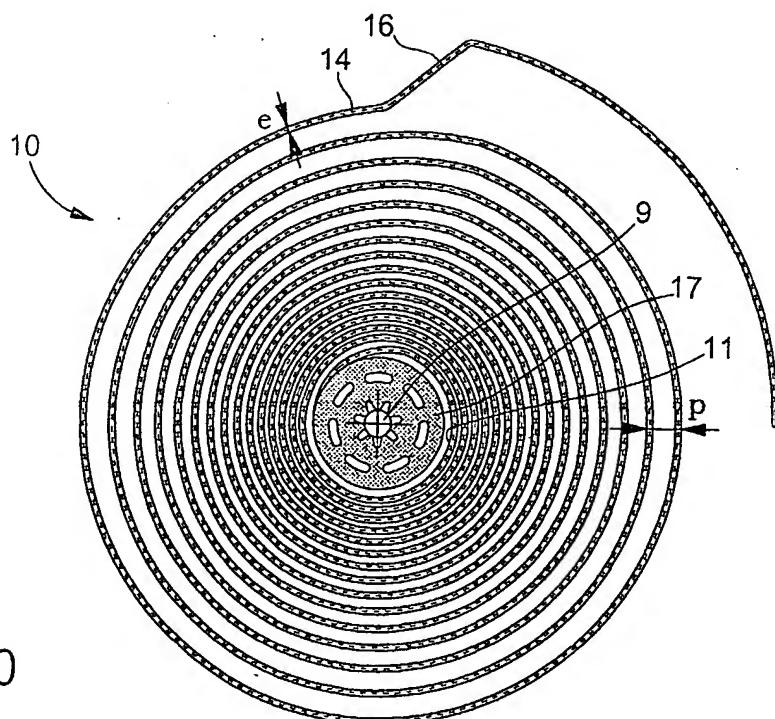


Fig.10

Description

[0001] La présente invention a pour objet un spiral plat de résonateur balancier-spiral obtenu par un procédé de fabrication permettant d'améliorer l'isochronisme en agissant d'une part sur des paramètres de construction du spiral en tant que tel, d'autre part sur un mode de fixation sur l'axe de balancier permettant de réduire l'écart géométrique inhérent aux modes de fixation usuels entre le point d'origine de la spirale d'Archimède et l'axe de rotation du balancier. Dans la description qui suit, on entend par isochronisme, les écarts de marche en fonction des variations d'amplitude d'oscillation du balancier, ainsi que les écarts de marche entre la position horizontale et les positions verticales de la montre.

[0002] De façon connue un spiral, ayant des spires de section et de pas uniformes, permet, par une conformation particulière de la courbe à l'intérieur et de la courbe à l'extérieur dans le plan du spiral ou le plus souvent dans des plans différents, d'obtenir un développement concentrique du spiral et d'avoir un déplacement du centre de masse du spiral et une variation de l'inertie du spiral au cours du développement minimisant les perturbations de marche en fonction de l'amplitude et des positions du spiral par rapport au vecteur gravité. Outre le fait que la réalisation d'un tel spiral exige une grande habileté, l'encombrement en hauteur constitue un inconvénient certain pour son utilisation dans des montres bracelets devant avoir, pour des raisons évidentes d'esthétique, une épaisseur la moins grande possible.

[0003] Pour cette raison on préfère encore utiliser un spiral plat, tel que celui représenté à la figure 1. Un tel spiral est fabriqué de façon connue par estrapadage à partir d'un fil ou d'une bande métallique de section constante sur toute sa longueur, et possède au repos un pas constant entre les spires. Comme on le voit sur la figure 1, la courbe à l'intérieur est fixée, par exemple par soudure laser, sur une virole 20, chassée sur l'axe 9 d'un balancier 8.

[0004] Par rapport à cet état de la technique, en ce qui concerne le pas entre les spires, il convient toutefois de mentionner le brevet CH 465 537, déposé en 1966, dans lequel est décrit un procédé permettant de fabriquer à partir d'une bande ou d'un fil métallique de section constante, enroulé dans le sillon d'une matrice, puis recuit et trempé, des spiraux ayant une configuration quelconque, en particulier avec un pas variable. A la meilleure connaissance de la demanderesse, aucun produit de ce type n'a été mis sur le marché, ce qui permet de supposer que le procédé de fabrication n'était, techniquement ou économiquement, pas satisfaisant.

[0005] En ce qui concerne la variation de l'épaisseur d'une bande métallique enroulée, on peut mentionner le brevet GB 1020 456 qui décrit la fabrication d'un ressort de bâillet par soudures bout à bout de lames ayant des sections croissantes depuis le centre jusqu'à la périphérie. Un tel ressort est conçu, à encombrement égal, pour augmenter la réserve de marche, mais il est bien

évident qu'en appliquant ce procédé de fabrication à un spiral, la présence de soudures ne permettrait pas d'avoir un développement concentré et d'obtenir un isochronisme reproductible d'un spiral à l'autre.

[0006] Ce même principe avait d'ailleurs déjà été proposé dans un brevet US 209 642 de 1878 pour améliorer l'isochronisme d'un spiral construit avec une spire à l'intérieur de plus faible section. Comme on le verra dans la description détaillée, l'expérience contredit cette affirmation.

[0007] L'invention a donc pour objet un spiral plat et des procédés de fabrication par micro-usinage ou croissance galvanique, permettant de choisir de façon commode les paramètres de construction les plus favorables en vue d'améliorer l'isochronisme par la forme du spiral ainsi que par les moyens de fixation.

[0008] A cet effet l'invention concerne un spiral plat, formé d'une lame composée d'une succession de spires ayant entre elles un pas "p", pour un mécanisme réglant à balancier, ledit spiral étant obtenu par un procédé de fabrication qui permet de se rapprocher d'un isochronisme parfait. Les spires de section rectangulaire sont formées en un seul matériau continu depuis la courbe à l'intérieur jusqu'à la courbe à l'extérieur, mais présentent, sur certaines portions comprises entre l'attache au centre et l'attache à l'extérieur, une section "s" non uniforme et/ou possèdent une ou plusieurs portions conformées en dehors du tracé d'une spirale parfaite. L'expression "section non uniforme" signifie que, pour une lame ayant une hauteur "h" constante, l'épaisseur "e" d'une portion choisie peut être soit supérieure, soit inférieure à l'épaisseur du reste de la lame constituant le spiral.

[0009] Comme cela sera expliqué plus loin dans la description détaillée, le procédé de fabrication fait appel aux micro-techniques, tel que la photolithographie et l'électrodéposition d'un métal ou d'un alliage, ou le micro-usinage d'une plaque d'épaisseur "h" réalisé en un matériau amorphe ou cristallin tel que du silicium sous forme monocristalline ou polycristalline.

[0010] Selon un premier mode de réalisation, la section "s" des spires augmente progressivement depuis la courbe à l'extérieur jusqu'à la courbe à l'intérieur.

[0011] Selon un deuxième mode de réalisation, qui peut être combiné avec le premier mode de réalisation, le pas "p" entre les spires diminue régulièrement depuis la courbe à l'extérieur jusqu'à la courbe à l'intérieur.

[0012] Selon encore un autre mode de réalisation, il est possible de sélectionner une portion de spire déterminée et de faire localement varier la largeur de lame pour agir sur d'autres paramètres favorables à l'isochronisme. Cette augmentation peut être réalisée par exemple sur la courbe à l'intérieur, sur la courbe à l'extérieur ou en même temps sur les deux courbes, ou en de multiples autres endroits sur d'autres portions du spiral.

[0013] Il est également possible d'obtenir un spiral ayant une portion de spire s'écartant de la courbe d'une spirale parfaite, en ayant par exemple une courbe à l'in-

térieur de type Grossmann.

[0014] L'invention offre en outre l'avantage de pouvoir, en même temps que le spiral en tant que tel, fabriquer le moyen de fixation sur l'axe de balancier, ce moyen de fixation étant formé par une rondelle autobloquante ayant au centre, par exemple, un contour en étoile et comportant des événements dans son pourtour pour lui conférer une élasticité suffisante au montage et éviter un écart entre le point d'origine de la spirale d'Archimède et l'axe de rotation du balancier.

[0015] Pour un spiral en métal ou alliage, le procédé de fabrication consiste fondamentalement à appliquer la technique LIGA pour former un moule correspondant au profil souhaité par le spiral. Compte-tenu des propriétés des photorésists actuellement disponibles sur le marché, il est possible d'ajuster l'épaisseur de la couche de photorésist pour obtenir toute la gamme des spiraux avec des hauteurs de lame allant jusqu'à quelques dixièmes de millimètre.

[0016] Pour un spiral en un matériau amorphe ou cristallin, le procédé consiste fondamentalement à effectuer une gravure d'une plaque dudit matériau à travers des masques.

[0017] D'autres caractéristiques et avantages de la présente invention apparaîtront dans la description de différents exemples de réalisation donnés à titre illustratif et non limitatif en référence aux dessins annexés dans lesquels:

- la figure 1 représente un balancier-spiral de l'art antérieur;
- la figure 2 est une représentation agrandie du spiral de la figure 1;
- la figure 3A correspond à un diagramme d'isochronisme obtenu avec le spiral représenté à la figure 2;
- la figure 3B correspond à un diagramme d'isochronisme obtenu avec un autre spiral de l'art antérieur;
- la figure 4 représente un premier mode de réalisation d'un spiral selon l'invention;
- la figure 5 correspond à un diagramme d'isochronisme obtenu avec le spiral de la figure 4;
- la figure 6 représente un deuxième mode de réalisation d'un spiral selon l'invention;
- la figure 7 correspond à un diagramme d'isochronisme obtenu avec le spiral de la figure 6;
- la figure 8 représente un troisième mode de réalisation d'un spiral selon l'invention;
- la figure 9 correspond à un diagramme d'isochronisme obtenu avec le spiral de la figure 8;
- la figure 10 représente un mode de fixation d'un spiral selon l'invention, et
- les figures 10A à 10E représentent d'autres formes de fixation au centre.

[0018] La figure 1, partiellement arrachée, représente un balancier-spiral de l'art antérieur évoqué en préambule. Ses caractéristiques serviront de référence pour montrer les progrès significatifs apportés par l'invention

au niveau de l'isochronisme. Le spiral 10 a l'extrémité de sa courbe au centre 11 fixée de façon classique sur une virole 20 chassée sur l'axe 9 du balancier 8 pivoté entre la platine 7 et le coq 6. Le dispositif réglant comporte en outre de façon connue un porte-piton 5 permettant de fixer la courbe à l'extérieur 14 du spiral 10 et éventuellement une raquette 4 pourvue de goupilles 3 et d'une queue de raquette 2 en regard d'une graduation 1. Sur la figure 2, qui est une représentation agrandie du spiral 10 seul, on voit que ledit spiral est formé de 14 spires ayant une section rectangulaire uniforme, par exemple de 0,05 x 0,30 mm depuis la courbe au centre 11 jusqu'à la courbe à l'extérieur 14, et que les spires présentent entre elles un pas constant p. Le point de fixation de la courbe au centre 11 est situé à une distance r du centre de pivotement du spiral, et celui de la courbe à l'extérieur 14, à une distance R, avant le coude 16. Dans cet exemple, r et R ont respectivement pour valeurs 0,57 mm et 2,46 mm. Ces valeurs de r et R, ainsi que nombre de spires, seront les mêmes dans la suite de la description, sauf indications contraires.

[0019] En se référant maintenant à la figure 3A on a représenté le diagramme d'isochronisme d'un spiral ayant les caractéristiques sus-indiquées. On a porté en abscisses l'amplitude d'oscillation du balancier exprimée en degrés par rapport à sa position d'équilibre. En ordonnées on a reporté l'écart de marche exprimé en seconde par jour. Ce diagramme comporte cinq courbes correspondant aux positions usuelles de mesures avec le balancier-spiral, horizontal (courbe 1), puis vertical (courbes 2 à 5, par rotation de 90° d'une courbe à l'autre). Le tracé en pointillés correspond à l'enveloppe de toutes les positions les plus défavorables. L'appréciation de l'écart de marche s'effectue traditionnellement en prenant en considération l'écart maximum de l'enveloppe pour une amplitude comprise entre 200° et 300°. Sur le diagramme de la figure 3A, on observe que cet écart maximum, avec ce spiral de référence de l'art antérieur, est de 4,7 s/j pour une amplitude de 236°.

[0020] A la figure 3B on a représenté le diagramme obtenu avec un spiral (non représenté) ayant les caractéristiques mentionnées dans le brevet US 209 642 cité en préambule, à savoir avec une épaisseur de lame variant entre 0,046 mm pour la courbe à l'extérieur 14 et 0,036 mm pour la courbe à l'intérieur 11. Contrairement à ce qu'on peut attendre d'après l'enseignement dudit brevet on observera que l'écart maximum a augmenté jusqu'à 7,7 s/j pour une amplitude de 230°.

[0021] En se référant maintenant aux figures 4 et 5 on décrit ci-après un premier mode de réalisation d'un spiral dont la fabrication par micro-usinage (photolithographie et croissance galvanique, ou gravure d'un matériau amorphe ou cristallin permet d'obtenir une géométrie favorable à l'isochronisme. Comme on peut le voir, le pas p entre une spire et la suivante diminue au fur et à mesure qu'on se rapproche du centre du spiral. Inversement, la section augmente depuis la courbe à l'extérieur 14 jusqu'à la courbe à l'intérieur 11. Etant don-

né que les procédés de fabrication confèrent à la lame une hauteur constante, la variation de section correspond en fait à une variante de l'épaisseur qui passe de 0,036 mm pour la courbe à l'extérieur 14 à 0,046 mm pour la courbe à l'intérieur 11.

[0022] Sur le diagramme représenté à la figure 5, on voit que l'écart maximum est abaissé à 2,8 s/j pour une amplitude de 242°. On obtiendrait encore un résultat favorable sur cet écart maximum en agissant uniquement, soit sur le pas p , soit sur l'épaisseur e de la lame.

[0023] Les figures 6 et 7 correspondent à une deuxième mode de réalisation de type "Michel" pour la courbe à l'extérieur 14 et pour la courbe à l'intérieur 11. Les spires ont entre elles un pas constant et une section constante correspondant à une épaisseur constante de 0,042 mm, à l'exception de deux portions de spires pour lesquelles l'épaisseur est portée à 0,056 mm :

- une portion 12 de la courbe à l'intérieur 11 sur un secteur angulaire d'environ 80° dont la partie médiane se trouve sensiblement à - 110° d'un axe de référence Ox, et
- une portion 15 de la courbe à l'extérieur 14 sur un secteur angulaire d'environ 20° dont la partie médiane se trouve sensiblement à + 115° de l'axe de référence Ox.

[0024] Sur le diagramme représenté à la figure 7 on voit que l'écart maximum n'est plus que de 1,8 s/j. La valeur de la surépaisseur et les positionnements sur les spires ne sont donnés ci-dessus qu'à titre illustratif, et il est bien évident que l'homme de métier peut choisir d'avoir un plus grand nombre de zones de surépaisseur en différents endroits.

[0025] Les figures 8 et 9 correspondent à un troisième mode de réalisation dans lequel la courbe à l'intérieur 11 est de type Grossmann 13, c'est-à-dire en ayant une géométrie telle que celle décrite dans l'ouvrage "Théorie générale de l'horlogerie" de L. Defossez. Une telle géométrie est très délicate à obtenir par déformation d'une lame métallique. Le procédé de fabrication selon l'invention permet par contre d'obtenir très facilement une telle configuration sans l'intervention d'un personnel hautement qualifié. Le diagramme représenté à la figure 9 montre que l'écart maximum à 300° n'est que de 2,1 s/j.

[0026] Bien évidemment, compte tenu de la liberté de configuration que donnent les procédés de fabrication selon l'invention, il est possible de combiner les modes de réalisations précédemment décrits pour obtenir un spiral selon l'invention ayant un isochronisme amélioré.

[0027] A la figure 10 on a représenté un spiral correspondant au premier mode de réalisation (figure 4) dans lequel la virole 20 est remplacée par une rondelle autobloquante 17 formée en même temps que le spiral 10. Cette rondelle 17 présente en son centre un contour 19 tel qu'il permet de bloquer sans jeu l'axe 9 du balancier 8 en ayant une certaine élasticité procurée par des lu-

mières 18 réparties autour du contour de blocage 19 représenté en étoile à la figure 10. Les figures 10A à 10E montrent d'autres conformations possibles de la rondelle autobloquante 17 avec un contour de blocage 19 en triangle, en carré, hexagonal, circulaire ou en ogive.

5 Lorsqu'on réalise l'ensemble spiral-rondelle autobloquante par photolithographie et croissance galvanique on peut avantageusement, au moyen d'une étape supplémentaire, réaliser ladite rondelle autobloquante 17 avec une épaisseur supérieure à la hauteur de la lame pour obtenir une meilleure tenue du spiral 10 sur l'axe 9 du balancier.

[0028] Un spiral selon l'invention en un matériau amorphe ou cristallin tel que du silicium peut être fabriqué en adaptant les procédés de micro-usinage déjà utilisés par exemple pour la fabrication de circuits intégrés ou d'accéléromètres à partir d'une plaquette de silicium. On peut notamment se référer aux procédés décrits dans les brevets US 4 571 661 et US 5 576 250 concernant des accéléromètres. Le procédé consiste fondamentalement en les étapes suivantes :

- appliquer une plaquette de silicium sur un substrat en créant une interface en SiO_2 isolante;
- 25 amincir la plaquette jusqu'à la hauteur "h" de lame désirée selon la méthode décrite par C. Harendt et al. ("Wafer bonding and its application to silicon-on-insulator fabrication" Technical Digest MNE'90, 2nd Workshop, Berlin, November 90, p. 81-86);
- former par photolithographie un masquage correspondant au contour de spiral désiré;
- effectuer la gravure de la plaquette de silicium jusqu'au substrat, selon des procédés connus, telle qu'une attaque chimique par voie humide, un usinage à sec par plasma, ou une combinaison des deux; et
- séparer le spiral du substrat.

[0029] Compte-tenu des très petites dimensions d'un spiral, il est évidemment possible et avantageux de les fabriquer par lot à partir d'une unique plaquette de silicium.

[0030] Pour fabriquer un spiral selon l'invention en métal ou en alliage, on fait appel à la technique LIGA connue depuis le milieu des années 70. Dans une première étape le procédé consiste fondamentalement à étaler sur un substrat préalablement revêtu d'une couche sacrificielle un photorésist positif ou négatif sur une épaisseur correspondant à la hauteur "h" de lame désirée et former au moyen d'un masque par photolithographie et attaque chimique une structure en creux correspondant au contour désiré pour le spiral. Dans une deuxième étape, on remplit ladite structure en creux d'un métal ou d'un alliage métallique soit par électrodéposition comme indiqué par exemple dans le brevet US 4 661 212, soit par compression et frittage de nanoparticules, comme indiqué par exemple dans la demande de brevet US 2001/0038803.

[0031] Dans une dernière étape on libère le spiral du substrat par élimination de la couche sacrificielle.

Revendications

1. Spiral de résonateur balancier-spiral ayant son axe (9) pivoté entre une platine (7) et le coq (6), ledit spiral (10) étant formé d'une lame composée d'une succession de spires ayant entre elles un pas "p", l'extrémité de la courbe à l'intérieur (11) étant rendue solidaire de l'axe (9) de balancier (8) et l'extrémité de la courbe à l'extérieur (14) étant fixée au coq (6) ou à une pièce solidaire de celui-ci, caractérisé en ce que les spires sont formées d'une seule bande depuis la courbe à l'intérieur (11) jusqu'à la courbe à l'extérieur (14) et présentent sur certaines portions comprises entre l'attache au centre et l'attache à l'extérieur une section "s" rectangulaire, de hauteur h et d'épaisseur e non uniforme, et/ou comportent une ou plusieurs portions conformées en dehors du tracé d'une spirale parfaite.

2. Spiral selon la revendication 1, caractérisé en ce que la section "s" des spires augmente régulièrement depuis la courbe à l'extérieur (14) jusqu'à la courbe à l'intérieur (11).

3. Spiral selon la revendication 1, caractérisé en ce que le pas "p" entre les spires diminue régulièrement depuis la courbe à l'extérieur (14) jusqu'à la courbe à l'intérieur (11).

4. Spiral selon les revendications 2 et 3, caractérisé en ce que la section "s" des spires augmente et le pas "p" entre chaque spire diminue depuis la courbe à l'extérieur (14) jusqu'à la courbe à l'intérieur (11).

5. Spiral selon la revendication 1, caractérisé en ce qu'une portion de la courbe à l'intérieur (11) présente une section plus grande que celle de la lame formant toutes les autres spires.

6. Spiral selon la revendication 1, caractérisé en ce qu'une portion de la courbe à l'extérieur (14) présente une section plus grande que celle de la lame formant toutes les autres spires.

7. Spiral selon les revendications 5 et 6, caractérisé en ce qu'une portion (12) de la courbe à l'intérieur (11) et une portion (15) de la courbe à l'extérieur (14) présentent une section plus grande que celle de la lame formant toutes les autres spires.

8. Spiral selon la revendication 1, caractérisé en ce que la courbe à l'intérieur a une conformation de type Grossmann.

9. Spiral selon l'une quelconque des revendications 1 à 8, caractérisé en ce que la courbe à l'intérieur (11) est prolongée par une rondelle autobloquante (17) formée en même temps que la lame et agissant comme une virole pour positionner ledit spiral sur l'axe (9) du balancier (8), permettant ainsi de maîtriser la distance et l'orientation du point d'origine de la spirale d'Archimède par rapport à l'axe de rotation du balancier (8)

10. Spiral selon la revendication 9, caractérisé en ce que la rondelle autobloquante (17) a une épaisseur supérieure à la hauteur "h" de la lame.

11. Procédé de fabrication d'un spiral à partir d'une plaquette en un matériau amorphe ou cristallin, ledit spiral étant formé d'une seule lame de section rectangulaire ayant une épaisseur e non uniforme et/ou comportant une ou plusieurs portions de spires conformées en dehors du tracé d'une spirale parfaite caractérisé en ce qu'il consiste à effectuer au moyen d'un masque la gravure de ladite plaquette selon le contour désiré pour le spiral.

12. Procédé de fabrication d'un spiral en métal ou en alliage formé d'une seule lame de section rectangulaire ayant une épaisseur e non uniforme et/ou comportant une ou plusieurs portions de spires conformées en dehors du tracé d'une spirale parfaite, caractérisé en ce qu'on forme par le procédé LIGA un moule correspondant au contour désiré pour le spiral, et qu'on apporte dans ledit moule le métal ou l'alliage.

13. Procédé de fabrication selon la revendication 12, caractérisé en ce que le métal ou l'alliage est apporté par électrodéposition.

14. Procédé de fabrication selon la revendication 12, caractérisé en ce que le métal ou l'alliage est apporté sous forme de poudre nanoparticulaire comprimée puis frittée.

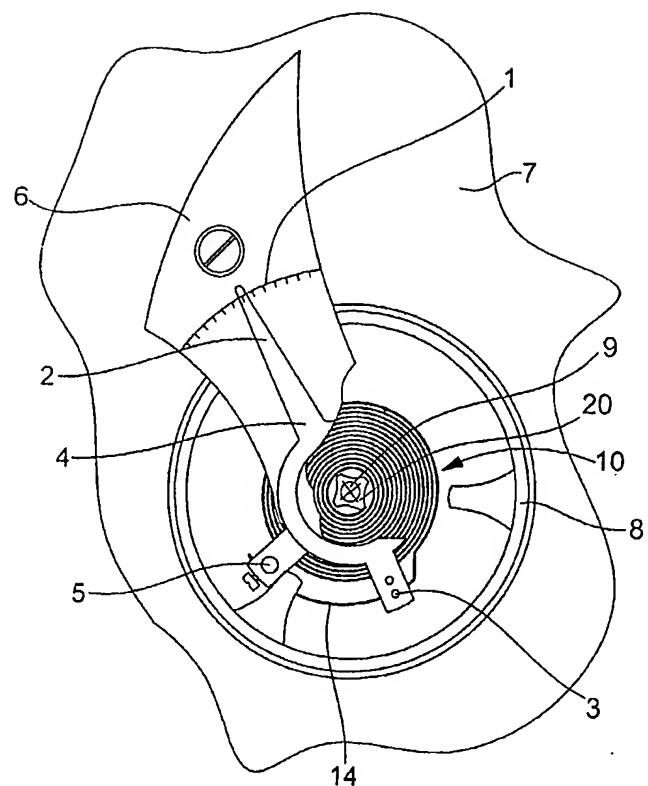


Fig.1

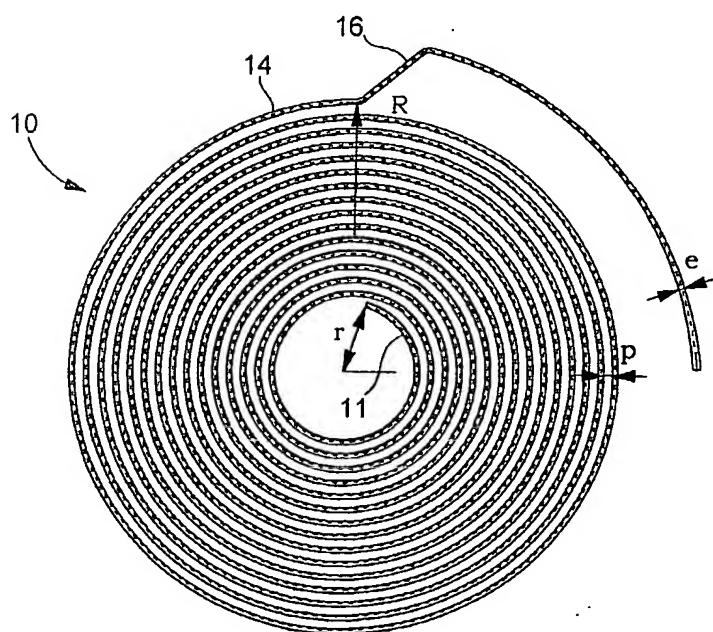


Fig.2

EP 1 445 670 A1

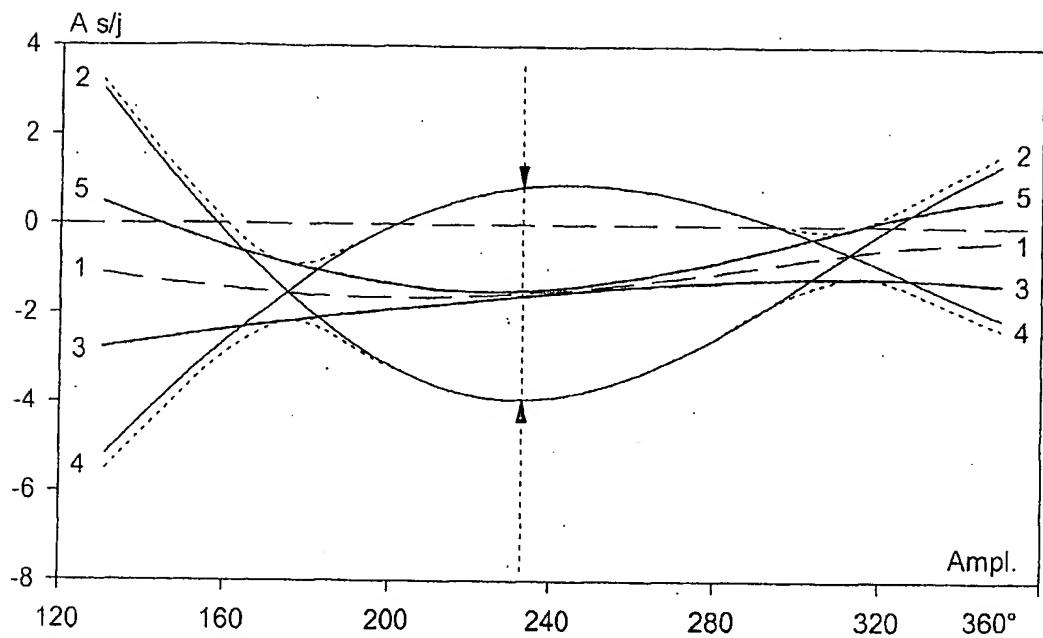


Fig.3a

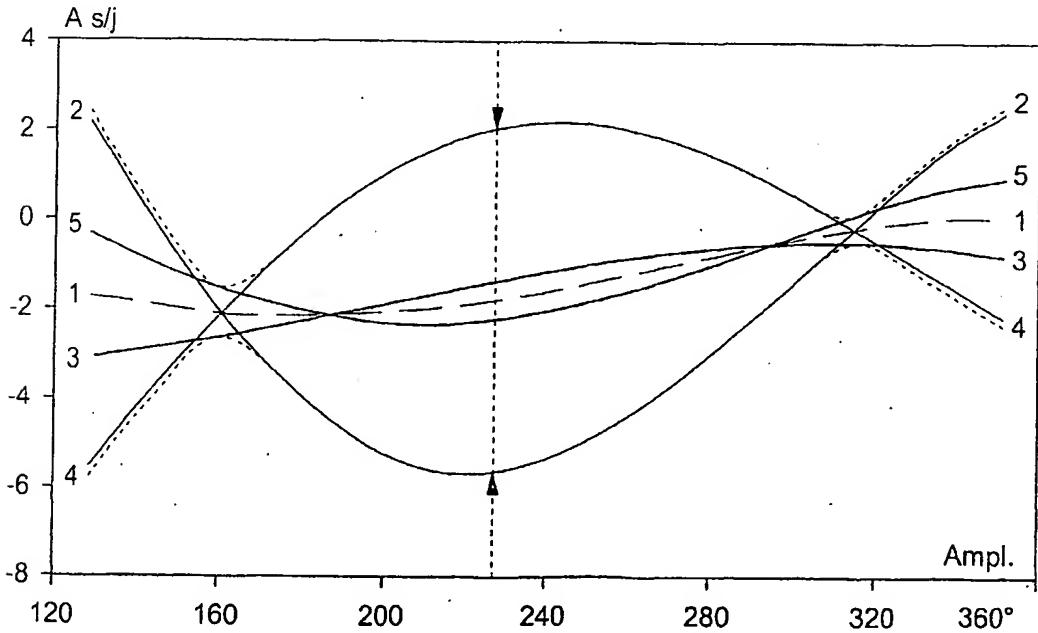


Fig.3b

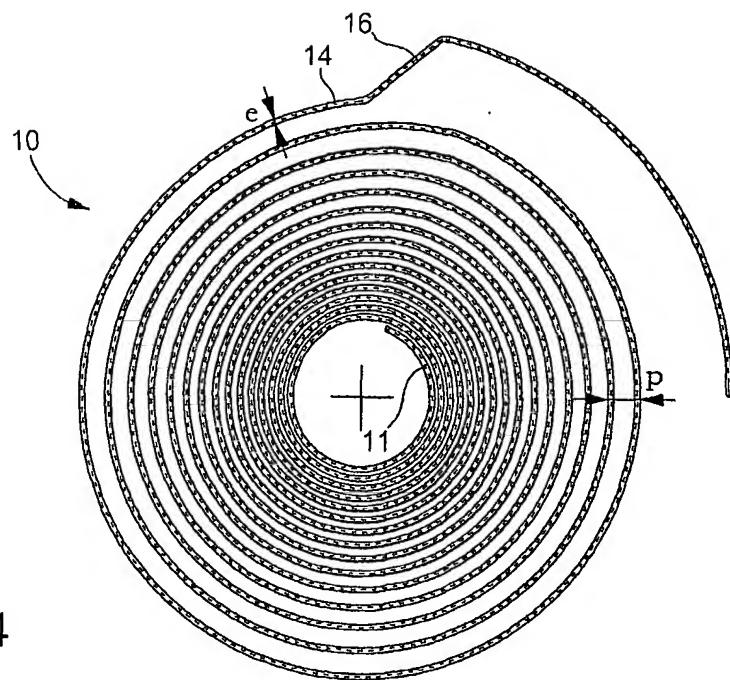


Fig.4

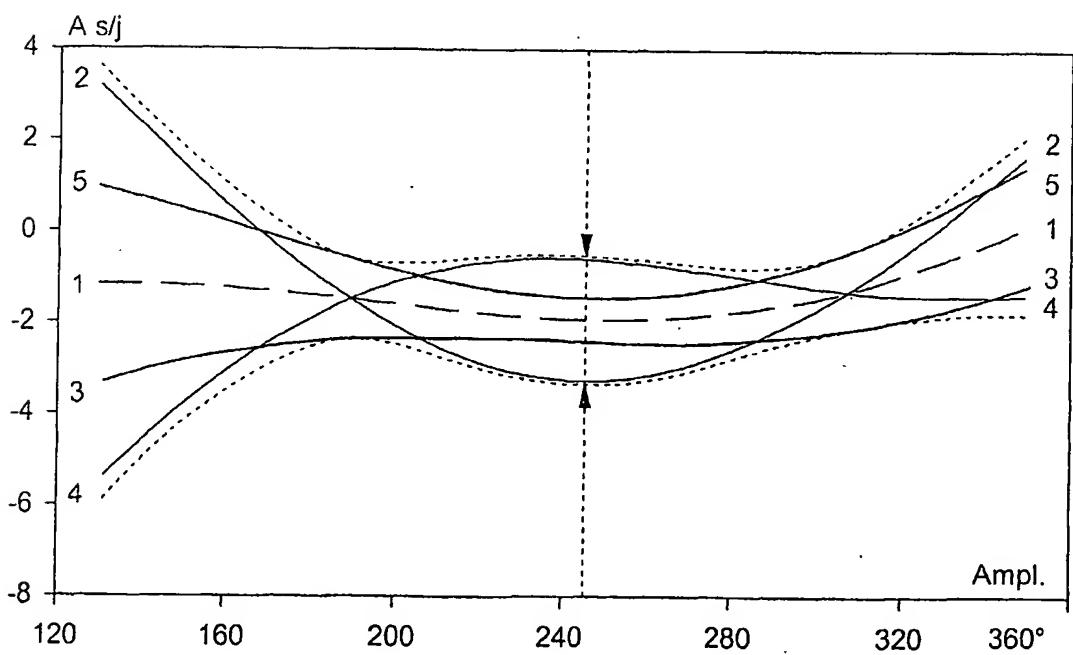


Fig.5

EP 1 445 670 A1

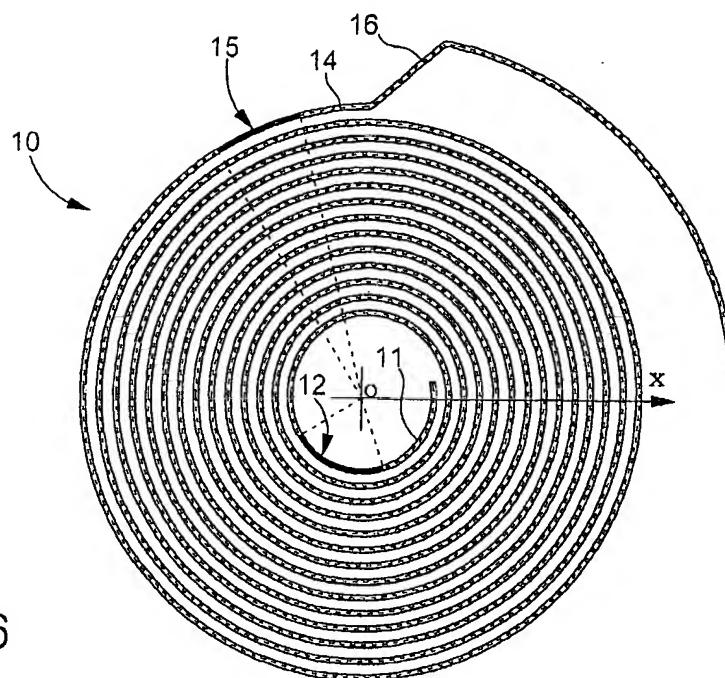


Fig.6

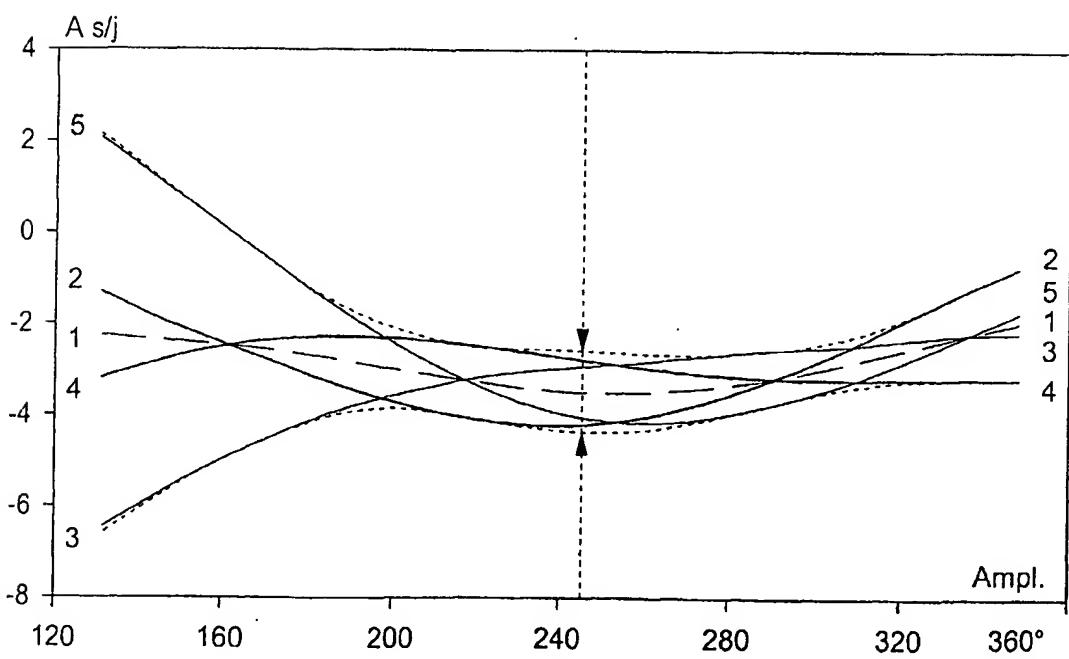


Fig.7

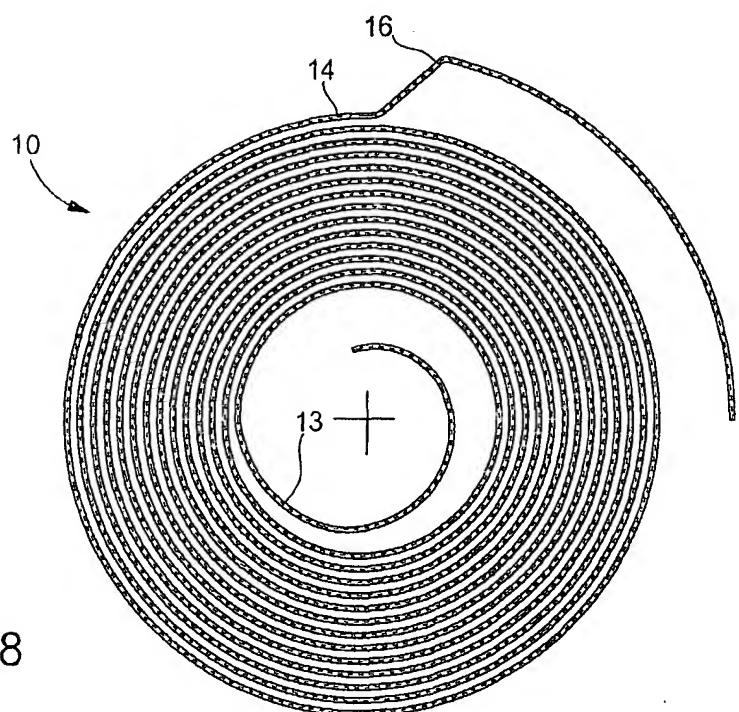


Fig.8

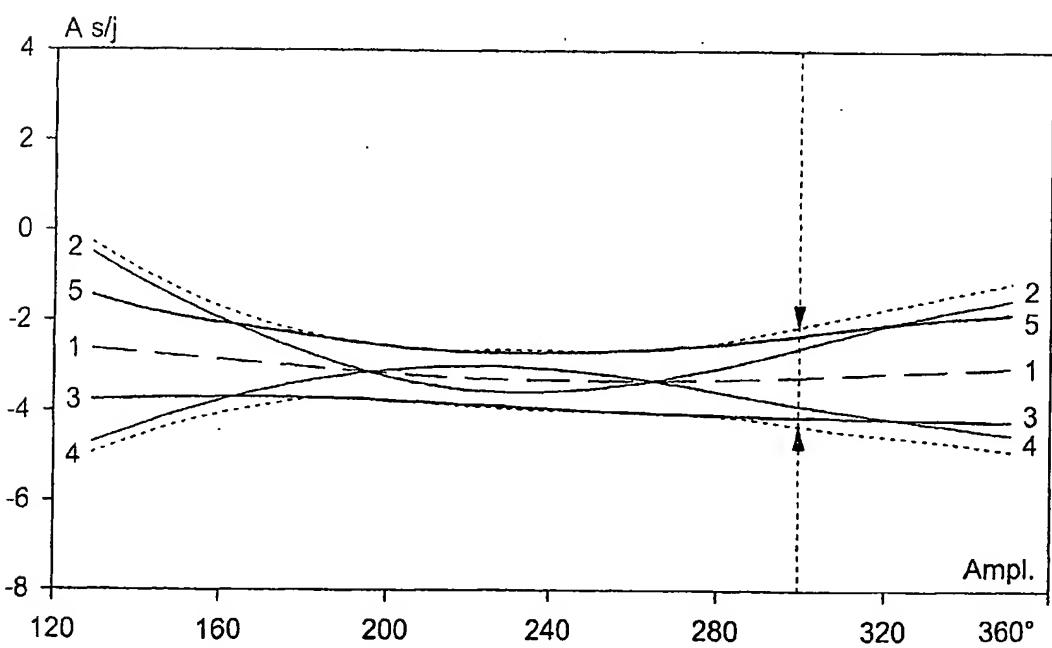


Fig.9

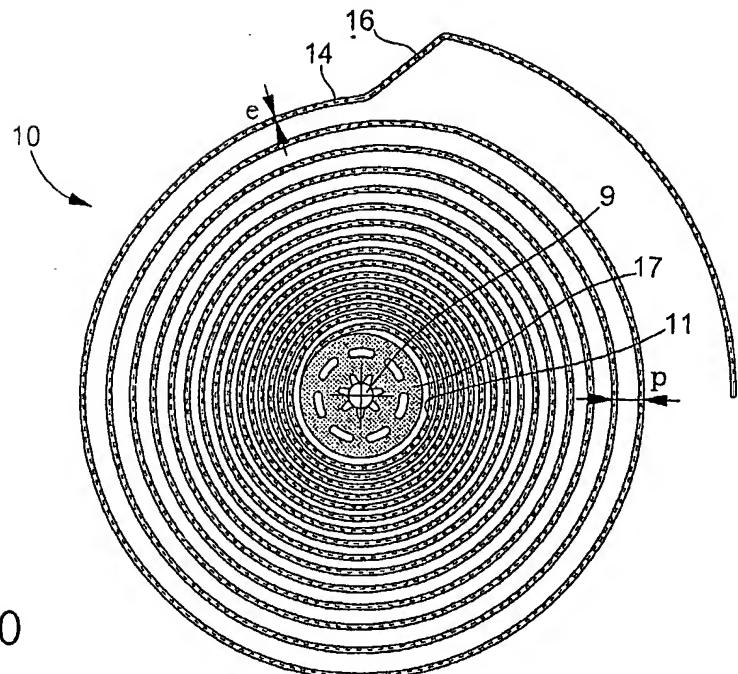


Fig. 10

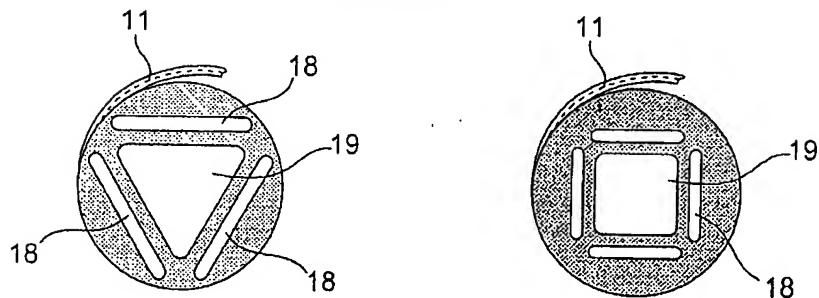


Fig. 10A

Fig. 10B

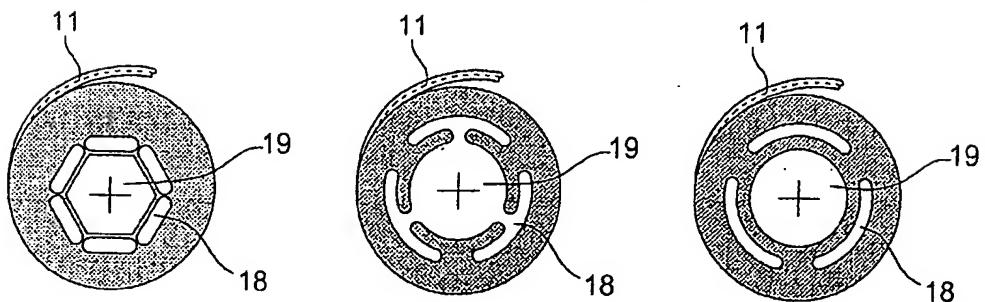


Fig. 10C

Fig. 10D

Fig. 10E



Office européen
des brevets

RAPPORT DE RECHERCHE EUROPEENNE

Numéro de la demande
EP 03 07 5362

DOCUMENTS CONSIDERES COMME PERTINENTS			
Catégorie	Citation du document avec indication, en cas de besoin, des parties pertinentes	Revendication concernée	CLASSEMENT DE LA DEMANDE (Int.Cl.7)
X, D	US 209 642 A (M.D. BERLITZ ET AL) 5 novembre 1878 (1878-11-05)	1-10	G04B17/06 G04B17/04
Y	* figures 1-6 * * colonne 1, ligne 26-28 *	11-14	G04B17/14 G04B17/22 G03F7/34
Y	US 3 186 157 A (JOSEF EGGER ET AL) 1 juin 1965 (1965-06-01) * figures 9,12 * * colonne 5, ligne 14-38 *	11	G03C1/805 G03F7/09 G04C3/06
Y	US 2002/115016 A1 (WARREN JOHN B) 22 août 2002 (2002-08-22) * alinéas '0005!, '0006! *	12-14	
A	BE 526 689 A (E. MICHEL) 25 mars 1954 (1954-03-25) * le document en entier *	5-7	
A	DE 71 12 828 U (CARL HAAS) 19 avril 1973 (1973-04-19) * figures 5-9 *	9	
A	EP 1 256 854 A (SEIKO INSTR INC) 13 novembre 2002 (2002-11-13) * figure 4B *	10	G04B G03F G03C G04C
A	H. JENDRITZKI: "Le réglage d'une montre à balancier spiral" 1961, EDITION SCRIPTAR S.A., LAUSANNE (CH) XP002266616 * page 45 *	1-10	
Le présent rapport a été établi pour toutes les revendications			
Lieu de la recherche	Date d'achèvement de la recherche	Examinateur	
LA HAYE	19 février 2004	Burns, M	
CATÉGORIE DES DOCUMENTS CITES		T : théorie ou principe à la base de l'invention E : document de brevet antérieur, mais publié à la date de dépôt ou après celle date D : cité dans la demande L : cité pour d'autres raisons & : membre de la même famille, document correspondant	
X : particulièrement pertinent à lui seul Y : particulièrement pertinent en combinaison avec un autre document de la même catégorie A : arrière-plan technologique O : divulgation non écrite P : document intercalaire			

**ANNEXE AU RAPPORT DE RECHERCHE EUROPEENNE
RELATIF A LA DEMANDE DE BREVET EUROPEEN NO.**

EP 03 07 5362

La présente annexe indique les membres de la famille de brevets relatifs aux documents brevets cités dans le rapport de recherche européenne visé ci-dessus.

Lesdits membres sont contenus au fichier informatique de l'Office européen des brevets à la date du

Les renseignements fournis sont donnés à titre indicatif et n'engagent pas la responsabilité de l'Office européen des brevets.

19-02-2004

Document brevet cité au rapport de recherche		Date de publication	Membre(s) de la famille de brevet(s)	Date de publication
US 209642	A		AUCUN	
US 3186157	A	01-06-1965	DE 1205464 B CH 390800 B CH 833762 A GB 939336 A	18-11-1965 30-09-1964 30-09-1964 09-10-1963
US 2002115016	A1	22-08-2002	AUCUN	
BE 526689	A		AUCUN	
DE 7112828	U		AUCUN	
EP 1256854	A	13-11-2002	JP 2002341054 A CN 1385765 A EP 1256854 A2 US 2002167865 A1	27-11-2002 18-12-2002 13-11-2002 14-11-2002

EPO FORM P0460

Pour tout renseignement concernant cette annexe : voir Journal Officiel de l'Office européen des brevets, No.12/82

English translation of EP1445670

Description of EP1445670

[0001] La présente invention a pour objet un spiral plat de résonateur balancier-spiral obtenu par un procédé de fabrication permettant d'améliorer l'isochronisme en agissant d'une part sur des paramètres de construction du spiral en tant que tel, d'autre part sur un mode de fixation sur l'axe de balancier permettant de réduire l'écart géométrique inhérent aux modes de fixation usuels entre le point d'origine de la spirale d'Archimède et l'axe de rotation du balancier. Dans la description qui suit, on entend par isochronisme, les écarts de marche en fonction des variations d'amplitude d'oscillation du balancier, ainsi que les écarts de marche entre la position horizontale et les positions verticales de la montre.

[0001] The present invention concerns a balance spring from a balance wheel-balance spring resonator derived from a method of fabrication allowing ischronal improvement by acting upon in the first instance the construction parameters of the balance spring as such and in the second instance by way of the method of attachment to the balance staff allowing for a reduction in the geometric separation which is inherent in the usual methods of attachment between the startpoint of the Archimedes spiral and the axis of rotation of the balance wheel. In the following description we mean by isochronism, the variation in going rate in relation to the variations in balance wheel oscillating amplitude, as well as the difference in going rate between the horizontal and vertical positions of the watch.

[0002] De façon connue un spiral, ayant des spires de section et de pas uniformes, permet, par une conformation particulière de la courbe à l'intérieur et de la courbe à l'extérieur dans le plan du spiral ou le plus souvent dans des plans différents, d'obtenir un développement concentrique du spiral et d'avoir un déplacement du centre de masse du spiral et une variation de l'inertie du spiral au cours du développement minimisant les perturbations de marche en fonction de l'amplitude et des positions du spiral par rapport au vecteur gravité. Outre le fait que la réalisation d'un tel spiral exige une grande habileté, l'encombrement en hauteur constitue un inconvénient certain pour son utilisation dans des montres bracelets devant avoir, pour des raisons évidentes d'esthétique, une épaisseur la moins grande possible.

[0002] It is known of a balance spring wherein the coils, their cross-section and the pitch are all uniform, that this allows, by particular shaping of the innermost and outermost curves in the plane of the balance spring or more often in different planes, for a concentric dilation of the balance spring which minimises disturbances caused to the going rate by the displacement of the centre of gravity and variations of inertia in the spring in the course of its dilation in relation to the direction of gravity. Besides the fact that forming such a balance spring requires great skill, the lack of available height in the watch creates a distinct disadvantage, even before this height is reduced to its minimum for obvious aesthetic reasons.

[0003] Pour cette raison on préfère encore utiliser un spiral plat, tel que celui représenté à la figure 1. Un tel spiral est fabriqué de façon connue par estrapadage à partir d'un fil ou d'une bande métallique de section constante sur toute sa longueur, et possède au repos un pas constant entre les spires. Comme on le voit sur la figure 1, la courbe à l'intérieur est fixée, par exemple par soudure laser, sur une virole 20, chassée sur l'axe 9 d'un balancier 8.

[0003] For this reason the use of a flat balance spring is preferred such as the one shown in figure 1. Such a spring is made in a fashion known as 'estrapadage' (winding) of a metal wire or band of constant cross section over its entire length, and when at rest it has a constant pitch(spacing) between its coils. As is seen in figure 1, the inner curve is fixed, by laser welding for example, onto a collet 20, pressed onto the balance staff 9 of a balance wheel 8.

[0004] Par rapport à cet état de la technique, en ce qui concerne le pas entre les spires, il convient toutefois de mentionner le brevet CH 465 537, déposé en 1966, dans lequel est décrit un procédé permettant de fabriquer à partir d'une bande ou d'un fil métallique de section constante, enroulé dans le sillon d'une matrice, puis recuit et trempé, des spiraux ayant une configuration quelconque, en particulier avec un pas variable. A la meilleure connaissance de la demanderesse, aucun produit de ce type n'a été mis sur le marché, ce qui permet de supposer que le procédé de fabrication n'était, techniquement ou économiquement, pas satisfaisant.

[0004] In relation to this technique, concerning the pitch between the coils, it is useful to mention the patent CH 465 537, filed in 1966 in which is described a process for making any such configuration of balance spring, particularly of variable pitch, from metal wire or band of constant cross section, wound in the groove of the mold, then heated and tempered. To the best knowledge of the applicant, no such product was ever put on the market, which permits us to suppose that the manufacturing process was neither, technically or economically, satisfactory.

[0005] En ce qui concerne la variation de l'épaisseur d'une bande métallique enroulée, on peut mentionner le brevet GB 1020 456 qui décrit la fabrication d'un ressort de bâillet par soudures bout à bout de lames ayant des sections croissantes depuis le centre jusqu'à la périphérie. Un tel ressort est conçu, à encombrement égal, pour augmenter la réserve de marche, mais il est bien évident qu'en appliquant ce procédé de fabrication à un spiral, la présence de soudures ne permettrait pas d'avoir un développement concentrique et d'obtenir un isochronisme reproductible d'un spiral à l'autre.

[0005] Concerning the variation in the thickness of the wound metal band, we can mention the patent GB 1020 456 which describes the manufacture of a mainspring by welding end to end, sections of greater and greater thickness from the centre to the outside of the spring. Such a spring is designed to give even force, in order to augment the running reserve, but it is very clear that in applying this process to a balance spring, that the presence of welds would not allow for a concentric dilation and to have repeatable isochronism from one balance spring to the next.

[0006] Ce même principe avait d'ailleurs déjà été proposé dans un brevet US 209 642 de 1878 pour améliorer l'isochronisme d'un spiral construit avec une spire à l'intérieur de plus faible section. Comme on le verra dans la description détaillée, l'expérience contredit cette affirmation.

[0006] The same principle had indeed already been proposed in the patent US 209 642 of 1878 to improve the isochronism of a balance spring constructed with an inner coil of reduced thickness. As we will see in the detailed description, experience contradicts this assertion.

[0007] L'invention a donc pour objet un spiral plat et des procédés de fabrication par micro-usinage ou croissance galvanique, permettant de choisir de façon commode

les paramètres de construction les plus favorables en vue d'améliorer l'isochronisme par la forme du spiral ainsi que par les moyens de fixation.

[0007] The invention therefore concerns the processes of manufacture of a flat balance spring by micro-machining or galvanic deposition ('croissance galvanique'), allowing to choose in the appropriate way the most useful construction parameters with a view to improving isochronism by the shape of the balance spring as well as by the methods of its attachment.

[0008] A cet effet l'invention concerne un spiral plat, formé d'une lame composée d'une succession de spires ayant entre elles un pas "p", pour un mécanisme réglant à balancier, ledit spiral étant obtenu par un procédé de fabrication qui permet de se rapprocher d'un isochronisme parfait. Les spires de section rectangulaire sont formées en un seul matériau continu depuis la courbe à l'intérieur jusqu'à la courbe à l'extérieur, mais présentent, sur certaines portions comprises entre l'attache au centre et l'attache à l'extérieur, une section "s" non uniforme et/ou possèdent une ou plusieurs portions conformées en dehors du tracé d'une spirale parfaite. L'expression "section non uniforme" signifie que, pour une lame ayant une hauteur "h" constante, l'épaisseur "e" d'une portion choisie peut être soit supérieure, soit inférieure à l'épaisseur du reste de la lame constituant le spiral.

[0008] To this end the invention concerns a flat balance spring, formed of a strip composed of a succession of coils having between them a pitch "p", for a balance wheel regulating mechanism, the said balance spring being obtained by a process of fabrication allowing to approach perfect isochronism. The coils of rectangular section are made from a single continuous material from the inner curve to the outer curve, but having at certain portions between the inner and outer attachment points, a non uniform section 's' and /or one or more portions which lie outside the trace of a perfect spiral. The expression "non uniform section" signifies that, for a strip having a constant height "h", the thickness "e" of a chosen portion might be either greater or less than the thickness of the rest of the strip making up the balance spring.

[0009] Comme cela sera expliqué plus loin dans la description détaillée, le procédé de fabrication fait appel aux micro-techniques, tel que la photolithographie et l'électrodéposition d'un métal ou d'un alliage, ou le micro-usinage d'une plaque d'épaisseur "h" réalisé en un matériau amorphe ou cristallin tel que du silicium sous forme monocristalline ou polycristalline.

[0009] As will be explained later in the detailed description, the manufacturing process requires the use of micro-techniques, such as photolithography and the electro deposition of a metal or a alloy, or the miro-machining from a sheet of thickness "h" made from an amorphous or crystalline material such as silicon of monocrystalline or polycrystalline form.

[0010] Selon un premier mode de réalisation, la section "s" des spires augmente progressivement depuis la courbe à l'extérieur jusqu'à la courbe à l'intérieur.

[0010] In accordance with a first method of manufacture, the cross section "s" of the coils gets progressively greater from the outermost curve towards the innermost curve.

[0011] Selon un deuxième mode de réalisation, qui peut être combiné avec le premier mode de réalisation, le pas "p" entre les spires diminue régulièrement depuis la courbe à l'extérieur jusqu'à la courbe à l'intérieur.

[0011] In accordance with a second method of manufacture, which might be combined with the first method, the pitch "p" between the coils diminishes regularly from the outermost curve to the innermost curve.

[0012] Selon encore un autre mode de réalisation, il est possible de sélectionner une portion de spire déterminée et de faire localement varier la largeur de lame pour agir sur d'autres paramètres favorables à l'isochronisme. Cette augmentation peut être réalisée par exemple sur la courbe à l'intérieur, sur la courbe à l'extérieur ou en même temps sur les deux courbes, ou en de multiples autres endroits sur d'autres portions du spiral.

[0012] According to a further method of manufacture, it is possible to select a given portion of coil and to locally vary the thickness of the strip to act on other parameters which enhance isochronism. This enlargement made be affected for example on the innermost curve, the outermost curve or both at the same time, or in multiple other places on other portions of the balance spring.

[0013] Il est également possible d'obtenir un spiral ayant une portion de spire s'écartant de la courbe d'une spirale parfaite, en ayant par exemple une courbe à l'intérieur de type Grossmann.

[0013] It is equally possible to produce a balance spring having a portion of coil straying from the curve of a perfect spiral, in having an innermost curve of the Grossmann type for example.

[0014] L'invention offre en outre l'avantage de pouvoir, en même temps que le spiral en tant que tel, fabriquer le moyen de fixation sur l'axe de balancier, ce moyen de fixation étant formé par une rondelle autoblocante ayant au centre, par exemple, un contour en étoile et comportant des évidements dans son pourtour pour lui conférer une élasticité suffisante au montage et éviter un écart entre le point d'origine de la spirale d'Archimède et l'axe de rotation du balancier.

[0014] The invention as well as that of the balance spring offers a means of fastening to the balance staff, this means of fastening being performed by an auto-fastening ring having at its centre, for example, a star-shaped outline and openings in the surround allowing it sufficient elasticity for its assembly and avoiding the widening between the originating point of the Archimedes spiral and the rotational axis of the balance wheel.

[0015] Pour un spiral en métal ou alliage, le procédé de fabrication consiste fondamentalement à appliquer la technique LIGA pour former un moule correspondant au profil souhaité par le spiral. Compte-tenu des propriétés des photorésists actuellement disponibles sur le marché, il est possible d'ajuster l'épaisseur de la couche de photorésist pour obtenir toute la gamme des spiraux avec des hauteurs de lame allant jusqu'à quelques dixièmes de millimètre

[0015] For a balance spring in metal or alloy, the process of manufacture basically consists of applying the LIGA technique to form a mold corresponding to the required profile of the balance spring. Taking into the account the properties of the 'photo-resists' on the market today, it is possible to control the thickness of the layer of photo-resist to obtain the range of balance springs with heights rising to several tenths of a millimetre.

[0016] Pour un spiral en un matériau amorphe ou cristallin, le procédé consiste

fondamentalement à effectuer une gravure d'une plaquette dudit matériau à travers des masques.

[0016] For a balance spring in an amorphous or crystalline material, the process basically consists of engraving of a sheet of the said material through masks.

[0017] D'autres caractéristiques et avantages de la présente invention apparaîtront dans la description de différents exemples de réalisation donnés à titre illustratif et non limitatif en référence aux dessins annexés dans lesquels:

la figure 1 représente un balancier-spiral de l'art antérieur;

la figure 2 est une représentation agrandie du spiral de la figure 1;

la figure 3A correspond à un diagramme d'isochronisme obtenu avec le spiral représenté à la figure 2;

la figure 3B correspond à un diagramme d'isochronisme obtenu avec un autre spiral de l'art antérieur;

la figure 4 représente un premier mode de réalisation d'un spiral selon l'invention;

la figure 5 correspond à un diagramme d'isochronisme obtenu avec le spiral de la figure 4;

la figure 6 représente un deuxième mode de réalisation d'un spiral selon l'invention;

la figure 7 correspond à un diagramme d'isochronisme obtenu avec le spiral de la figure 6;

la figure 8 représente un troisième mode de réalisation d'un spiral selon l'invention;

la figure 9 correspond à un diagramme d'isochronisme obtenu avec le spiral de la figure 8;

la figure 10 représente un mode de fixation d'un spiral selon l'invention, et les figures 10A à 10E représentent d'autres formes de fixation au centre.

[0017] Amongst the characteristics and advantages of the present invention appearing in the description various of these are shown for the purpose of illustration but are not limited to this in the drawings referred to in the appendix in which:

Figure 1 represents a balance wheel - balance spring from the prior art;

figure 2 is an enlargement of the balance spring from figure 1;

figure 3A corresponds to a diagramme of the isochronism obtained with the balance spring represented in figure 2 ;

figure 3B corresponds to a diagramme of the isochronism obtained with another balance spring from the prior art ;

figure 4 shows a first method of manufacture of a balance spring according to the invention;

figure 5 corresponds to a diagramme of the isochronism obtained with the balance spring represented in figure 4 ;

figure 6 shows a second method of manufacture of a balance spring according to the invention ;

figure 7 corresponds to a diagramme of the isochronism obtained with the balance spring represented in figure 6 ;

figure 8 shows a third method of manufacture of a balance spring according to the invention ;

figure 9 corresponds to a diagramme of the isochronism obtained with the balance spring represented in figure 8 ;

figure 10 shows a method of attachment according to the invention, and the figures 10A to 10E show other forms of attachment to the centre.

[0018] La figure 1, partiellement arrachée, représente un balancier-spiral de l'art antérieur évoqué en préambule. Ses caractéristiques serviront de référence pour montrer les progrès significatifs apportés par l'invention au niveau de l'isochronisme. Le spiral 10 a l'extrémité de sa courbe au centre 11 fixée de façon classique sur une virole 20 chassée sur l'axe 9 du balancier 8 pivoté entre la platine 7 et le coq 6. Le dispositif réglant comporte en outre de façon connue un porte-piton 5 permettant de fixer la courbe à l'extérieur 14 du spiral 10 et éventuellement une raquette 4 pourvue de goupilles 3 et d'une queue de raquette 2 en regard d'une graduation 1. Sur la figure 2, qui est une représentation agrandie du spiral 10 seul, on voit que ledit spiral est formé de 14 spires ayant une section rectangulaire uniforme, par exemple de $0,05 \times 0,30$ mm depuis la courbe au centre 11 jusqu'à la courbe à l'extérieur 14, et que les spires présentent entre elles un pas constant p . Le point de fixation de la courbe au centre 11 est situé à une distance r du centre de pivotement du spiral, et celui de la courbe à l'extérieur 14, à une distance R , avant le coude 16. Dans cet exemple, r et R ont respectivement pour valeurs 0,57 mm et 2,46 mm. Ces valeurs de r et R , ainsi que nombre de spires, seront les mêmes dans la suite de la description, sauf indications contraires.

[0018] Figure 1 ; partly cut-away represents a balance wheel -balance spring from the prior art mentioned in the preamble. The characteristics will serve as a reference to show the significant progress brought about by the invention relating to isochronism. The balance spring 10 has fixed at the extremity of its curve at the centre 11 a collet in the traditional way 20 which is pressed onto the balance staff 9 of the balance wheel 8 pivoted between the main plate 7 and the balance bridge 6. The regulating device beside carrying the studding point 5 enabling the attachment of the outercurve 14 of the balance spring 10 and also a regulator 4 equipped with curb pins 3 and a pointer 2 over a graduated scale 1. In figure 2 , which is anenlargement of the balance spring 10 alone, one see that the said balance spring is formed of 14 coils having a uniform rectangular cross section, for example of $0,05 \times 0,30$ mm from the curve at the centre 11 to the outermost curve at 14, and that the coils show a constant pitch p between them. The attachment point of the curve at the centre 11 is situated at a distance r from the centre of rotation of the balance spring, and that of the outermost curve, at a distance R , having a bend 16. In this example, r and R have the respective values of 0,57 mm and 2,46 m. Thes values of r and R , as well as the number of coils, will be the same in the rest of the description, unless otherwise stated.

[0019] En se référant maintenant à la figure 3A on a représenté le diagramme d'isochronisme d'un spiral ayant les caractéristiques sus-indiquées. On a porté en abscisses l'amplitude d'oscillation du balancier exprimée en degrés par rapport à sa position d'équilibre. En ordonnées on a reporté l'écart de marche exprimé en seconde par jour. Ce diagramme comporte cinq courbes correspondant aux positions usuelles de mesures avec le balancier-spiral, horizontal (courbe 1), puis vertical (courbes 2 à 5, par rotation de 90 DEG d'une courbe à l'autre). Le tracé en pointillés correspond à l'enveloppe de toutes les positions les plus défavorables. L'appréciation de l'écart de marche s'effectue traditionnellement en prenant en considération l'écart maximum de l'enveloppe pour une amplitude comprise entre 200 DEG et 300 DEG . Sur le diagramme de la figure 3A, on observe que cet écart maximum, avec ce spiral de référence de l'art antérieur, est de 4,7 s/j pour une amplitude de 236 DEG .

[0019] In referring now to figure 3A we have shown a diagram representing the isochronism of a balance spring with the above mentioned characteristics. We have shown on the x axis the amplitude of the oscillation of the balance wheel expressed in degrees in relation to its position of rest . On the y axis we show the variation in rate expressed in seconds per day. This diagram shows five curves corresponding to the usual measuring positions with the balance and spring, horizontal (curve 1), then vertical (curves 2 to 5 , by rotation of 90 DEG from one curve to the next). The dotted line shows the 'envelope' of the least favoured positions. The analysis of the variation of the rate is usually made in taking account of the maximum variance of the envelope for an amplitude between 200 DEG and 300 DEG. In the diagram figure 3A, we note that the maximum variation with the reference spring from the prior art, is 4,7 s/j for an amplitude of 236 DEG.

[0020] A la figure 3B on a représenté le diagramme obtenu avec un spiral (non représenté) ayant les caractéristiques mentionnées dans le brevet US 209 642 cité en préambule, à savoir avec une épaisseur de lame variant entre 0,046 mm pour la courbe à l'extérieur 14 et 0,036 mm pour la courbe à l'intérieur 11. Contrairement à ce qu'on peut attendre d'après l'enseignement dudit brevet on observera que l'écart maximum a augmenté jusqu'à 7,7 s/j pour une amplitude de 230 DEG .

[0020] Figure 3B represents the diagram obtained with a balance spring (not shown) having the characteristics mentioned in the patent US 209 642 cited in the preamble, with a strip thickness varying between 0,046 mm at the outside curve 14 and 0,036 mm at the inner curve 11. Contrary as to what one might expect from the teaching of the said patent one observes the maximum variation rises to 7,7 s/j for an amplitude of 230 DEG.

[0021] En se référant maintenant aux figures 4 et 5 on décrit ci-après un premier mode de réalisation d'un spiral dont la fabrication par micro-usinage (photolithographie et croissance galvanique, ou gravure d'un matériau amorphe ou cristallin permet d'obtenir une géométrie favorable à l'isochronisme. Comme on peut le voir, le pas p entre une spire et la suivante diminue au fur et à mesure qu'on se rapproche du centre du spiral. Inversement, la section augmente depuis la courbe à l'extérieur 14 jusqu'à la courbe à l'intérieur 11. Etant donné que les procédés de fabrication confèrent à la lame une hauteur constante, la variation de section correspond en fait à une variante de l'épaisseur qui passe de 0,036 mm pour la courbe à l'extérieur 14 à 0,046 mm pour la courbe à l'intérieur 11.

[0021] In referring now to figures 4 and 5 we describe hereafter a first method of manufacture of a balance spring that of the fabrication by micro machining (photolithography or galvanic deposition, or engraving of an amorphous or crystalline material allowing the acquisition of the geometry enhancing isochronism. As one can see, the pitch "p" between one coil and the next diminishes bit by bit as one approaches the centre of the balance spring. Inversely the cross section increases from the outer curve 14 towards the inner curve 11. It is given that the fabrication process confers a constant height to the strip, the variation in cross section in fact corresponds to a variation in the thickness which changes from 0,036 mm for the outer curve 14 to 0,046 mm for the inner curve 11.

[0022] Sur le diagramme représenté à la figure 5, on voit que l'écart maximum est abaissé à 2,8 s/j pour une amplitude de 242 DEG . On obtiendrait encore un résultat

favorable sur cet écart maximum en agissant uniquement, soit sur le pas p, soit sur l'épaisseur e de la lame.

[0022] In figure 5 we see the maximum variation fall to 2,8 s/j for an amplitude of 242 DEG. We would obtain a better result still on this maximum variation by solely reacting to, either the pitch p, or the thickness e of the strip.

[0023] Les figures 6 et 7 correspondent à une deuxième mode de réalisation de type "Michel" pour la courbe à l'extérieur 14 et pour la courbe à l'intérieur 11. Les spires ont entre elles un pas constant et une section constante correspondant à une épaisseur constante de 0,042 mm, à l'exception de deux portions de spires pour lesquelles l'épaisseur est portée à 0,056 mm :

une portion 12 de la courbe à l'intérieur 11 sur un secteur angulaire d'environ 80 DEG dont la partie médiane se trouve sensiblement à - 110 DEG d'un axe de référence Ox, et

une portion 15 de la courbe à l'extérieur 14 sur un secteur angulaire d'environ 20 DEG dont la partie médiane se trouve sensiblement à + 115 DEG de l'axe de référence Ox.

[0023] Figures 6 and 7 correspond to a second method of fabrication of the 'Michel type' for the outside curve 14 and the inner curve 11. The coils have a constant pitch between them and a constant cross section of 0,042 mm, with the exception of two two portions of the coils wherein the thickness rises to 0,056 mm:

A portion 12 of the inner curve 11 over an angular sector of about 80 DEG the median of which is found close to -110 DEG from a refeence axis Ox and

A portion 15 of the outer curve 14 of angular sector of about 20 DEG the median of which lies close to +115 DEG from the reference axis Ox.

[0024] Sur le diagramme représenté à la figure 7 on voit que l'écart maximum n'est plus que de 1,8 s/j. La valeur de la surépaisseur et les positionnements sur les spires ne sont donnés ci-dessus qu'à titre illustratif, et il est bien évident que l'homme de métier peut choisir d'avoir un plus grand nombre de zones de surépaisseur en différents endroits.

[0024] On the diagram in figure 7 we see that the maximum variatio is not more than 1,8 s/j. The value of the thickening and its position on the coils are only shown in an illustrative manner, it is obvious that a person versed in the art might choose to have a greater number of thickened zones in different places.

[0025] Les figures 8 et 9 correspondent à un troisième mode de réalisation dans lequel la courbe à l'intérieur 11 est de type Grossmann 13, c'est-à-dire en ayant une géométrie telle que celle décrite dans l'ouvrage "Théorie générale de l'horlogerie" de L. Defossez. Une telle géométrie est très délicate à obtenir par déformation d'une lame métallique. Le procédé de fabrication selon l'invention permet par contre d'obtenir très facilement une telle configuration sans l'intervention d'un personnel hautement qualifié. Le diagramme représenté à la figure 9 montre que l'écart maximum à 300 DEG n'est que de 2,1 s/j.

[0025] Figures 8 and 9 correspond to a third method of fabrication in which the inner curve 11 is of the type Grossman 13, that is to say that its geometry is as is described in the work « Théory Générale de l'Horlogerie » by L.Defossez. Such a

shape is very difficult to obtain and is done so by the bending of a strip (band) of metal. The fabrication process according to the invention by contrast enables such a configuration to be obtained very easily without requirement of highly qualified personnel. The diagram shown in figure 9 shows a maximum variation at 300 DEG of only 2,1 s/j.

[0026] Bien évidemment, compte tenu de la liberté de configuration que donnent les procédés de fabrication selon l'invention, il est possible de combiner les modes de réalisations précédemment décrits pour obtenir un spiral selon l'invention ayant un isochronisme amélioré.

[0026] Evidently, taking account of freedom of form that the processes of fabrication allow for according to the invention, it is possible to combine the methods of fabrication previously described to obtain a balance spring according to the invention which has improved isochronism.

[0027] A la figure 10 on a représenté un spiral correspondant au premier mode de réalisation (figure 4) dans lequel la virole 20 est remplacée par une rondelle autobloquante 17 formée en même temps que le spiral 10. Cette rondelle 17 présente en son centre un contour 19 tel qu'il permet de bloquer sans jeu l'axe 9 du balancier 8 en ayant une certaine élasticité procurée par des lumières 18 réparties autour du contour de blocage 19 représenté en étoile à la figure 10. Les figures 10A à 10E montrent d'autres conformations possibles de la rondelle autobloquante 17 avec un contour de blocage 19 en triangle, en carré, hexagonal, circulaire ou en ogive. Lorsqu'on réalise l'ensemble spiral-rondelle autobloquante par photolithographie et croissance galvanique on peut avantageusement, au moyen d'une étape supplémentaire, réaliser ladite rondelle autobloquante 17 avec une épaisseur supérieure à la hauteur de la lame pour obtenir une meilleure tenue du spiral 10 sur l'axe 9 du balancier.

[0027] Figure 10 we represent a balance spring to a first method of fabrication (figure4) in which the collet 20 is replaced by an auto-fastening ring 17 formed at the same time as the balance spring 10. This ring 17 has at its centre a surround 19 such that it fastens without play on the balance staff 9 of the balance wheel 8 in having a certain elasticity made available by the cut-outs 18 spread around the fastening surround 19 represented in a star in figure 10. Figures 10A to 10E show other possible shapes for the fastening ring 17 with the fastening surround in triangle, in square, hexagonal, circular or in ogive. When fabricating the balance spring- auto fastening ring together by photolithographic and galvanic deposition we can usefully fabricate the said auto-fastening ring with a greater height than the spring to give better purchase of the balance spring 10 on the balance staff 9 of the balance wheel.

[0028] Un spiral selon l'invention en un matériau amorphe ou cristallin tel que du silicium peut être fabriqué en adaptant les procédés de micro-usinage déjà utilisés par exemple pour la fabrication de circuits intégrés ou d'accéléromètres à partir d'une plaque de silicium. On peut notamment se référer aux procédés décrits dans les brevets US 4 571 661 et US 5 576 250 concernant des accéléromètres. Le procédé consiste fondamentalement en les étapes suivantes :

appliquer une plaque de silicium sur un substrat en créant une interface en SiO₂

isolante;
amincir la plaquette jusqu'à la hauteur "h" de lame désirée selon la méthode décrite par C. Harendt et al. ("Wafer bonding and its application to silicon-on-insulator fabrication" Technical Digest MNE'90, 2nd Workshop, Berlin, November 90, p. 81-86); former par photolithographie un masquage correspondant au contour de spiral désiré;
effectuer la gravure de la plaquette de silicium jusqu'au substrat, selon des procédés connus, telle qu'une attaque chimique par voie humide, un usinage à sec par plasma, ou une combinaison des deux; et
séparer le spiral du substrat.

[0028] A balance spring according to the invention may be made in an amorphous or crystalline material such as silicon by adapting the micro-machining processes already used in the manufacture of integrated circuits or accelerometers from a sheet of silicon. We might especially refer to the processes described in patents US4571661 and US5576250 concerning accelerometers. The process basically consists of the following stages :

Apply a silicon sheet to a substrate in creating an insulating SiO₂ interface.

Thin the sheet to the height "h" of the strip required according to the method described by C ; Harendt et al ; (Wafer bonding and its application to silicon- on - insulator fabrication » Technical Digest MNE'90, 2nd Workshop, Berlin, November 90,p. 81-86); create a photolithographic mask according to the balance spring outline required;

Engrave the silicon through to the substrate, according to known processes, such as wet chemical erosion , dry plasma machining, or a combination of the two separate the balance spring from the substrate.

[0029] Compte-tenu des très petites dimensions d'un spiral, il est évidemment possible et avantageux de les fabriquer par lot à partir d'une unique plaquette de silicium.

[0029] Taking into account the very small dimensions of the balance spring, it is obviously possible and advantageous to manufacture in batches from a single sheet of silicon.

[0030] Pour fabriquer un spiral selon l'invention en métal ou en alliage, on fait appel à la technique LIGA connue depuis le milieu des années 70. Dans une première étape le procédé consiste fondamentalement à étaler sur un substrat préalablement revêtu d'une couche sacrificielle un photorésist positif ou négatif sur une épaisseur correspondant à la hauteur "h" de lame désirée et former au moyen d'un masque par photolithographie et attaque chimique une structure en creux correspondant au contour désiré pour le spiral. Dans une deuxième étape , on remplit ladite structure en creux d'un métal ou d'un alliage métallique soit par électrodepositioon comme indiqué par exemple dans le brevet US 4 661 212, soit par compression et frittage de nanoparticules, comme indiqué par exemple dans la demande de brevet US 2001/0038803.

[0030] To make a balance spring according to the invention in metal or alloy , we call upon the LIGA technique known since the mid 1970's. The first stage consists of basically spreading a layer of negative or positive sacrificial photoresist of a thickness "h" corresponding to the required strip height on a prepared substrate surface and chemical etching a hollow correponding to the outline required for the balance spring. In he second stage he said hollow structure is filled with a metal or a metal alloy either by electrodeposition as is indicated by example in the patent US4661212 or by compression and sintering of nanoparticles, as is indicated by example in the patent application US 2001/0038803.

[0031] Dans une dernière étape on libère le spiral du substrat par élimination de la couche sacrificielle.

[0031] In the last stage we free the balance spring from the substrate by removing the sacrificial layer.

1. Spiral de résonateur balancier-spiral ayant son axe (9) pivoté entre une platine (7) et le coq (6), ledit spiral (10) étant formé d'une lame composée d'une succession de spires ayant entre elles un pas "p", l'extrémité de la courbe à l'intérieur (11) étant rendue solidaire de l'axe (9) de balancier (8) et l'extrémité de la courbe à l'extérieur (14) étant fixée au coq (6) ou à une pièce solidaire de celui-ci, caractérisé en ce que les spires sont formées d'une seule bande depuis la courbe à l'intérieur (11) jusqu'à la courbe à l'extérieur (14) et présentent sur certaines portions comprises entre l'attache au centre et l'attache à l'extérieur une section "s" rectangulaire, de hauteur h et d'épaisseur e non uniforme, et/ou comportent une ou plusieurs portions conformées en dehors du tracé d'une spirale parfaite.
1. Balance spring for resonator balance wheel-balance spring having its axis (9) pivoted between a mainplate (7) and the bridge (6), the said balance spring being formed of a strip composed of successive coils having a pitch "p" between them, the extremity of the innermost curve (11) being fixed to the axis (9) of the balance wheel (8) and the extremity of the outermost curve (14) being fixed to the balance bridge (6) or a part fixed to this bridge, characterised in that the coils are formed from a sole strip from the inner curve (11) to the outer curve (14) and have at certain places between the central and exterior attachment points a section "s" of rectangular cross section, of height h and of thickness e which is not uniform, and or having several portions which lie outside the outline of a perfect spiral.
2. Spiral selon la revendication 1, caractérisé en ce que la section "s" des spires augmente régulièrement depuis la courbe à l'extérieur (14) jusqu'à la courbe à l'intérieur (11).
X 2. Balance spring according to claim 1, characterised by the fact that the cross section "s" of the coils increases regularly from the outer curve (14) to the inner curve (11).
3. Spiral selon la revendication 1, caractérisé en ce que le pas "p" entre les spires diminue régulièrement depuis la courbe à l'extérieur (14) jusqu'à la courbe à l'intérieur (11).
3. Balance spring according to claim 1, characterised by the fact that the pitch "p" between the coils decreases regularly from the outer curve (14) to the inner curve (11).
4. Spiral selon les revendications 2 et 3, caractérisé en ce que la section "s" des spires augmente et le pas "p" entre chaque spire diminue depuis la courbe à l'extérieur (14) jusqu'à la courbe à l'intérieur (11).
4. Balance spring according to claims 2 and 3, characterised by the fact that the cross section "s" of the coils increases and the pitch "p" between each coil decreases from the outer curve (14) to the inner curve (11).
5. Spiral selon la revendication 1, caractérisé en ce qu'une portion de la courbe à l'intérieur (11) présente une section plus grande que celle de la lame formant toutes les autres spires.
5. Balance spring according to claim 1, characterised by the fact that only one portion of the inner curve (11) has a cross section greater than the strip forming all

the other coils.

6. Spiral selon la revendication 1, caractérisé en ce qu'une portion de la courbe à l'extérieur (14) présente une section plus grande que celle de la lame formant toutes les autres spires.

6. Balance spring according to claim 1, characterised by the fact that only one portion of the outer curve (14) has a cross section greater than the strip forming all the other coils.

7. Spiral selon les revendications 5 et 6, caractérisé en ce qu'une portion (12) de la courbe à l'intérieur (11) et une portion (15) de la courbe à l'extérieur (14) présentent une section plus grande que celle de la lame formant toutes les autres spires.

7. Balance spring according to claims 5 and 6, characterised by the fact that only one portion (12) of the inner curve (11) and a portion (15) of the outer curve (14) has a cross section greater than the strip forming all the other coils.

8. Spiral selon la revendication 1, caractérisé en ce que la courbe à l'intérieur a une conformation de type Grossmann.

8. Balance spring according to claim 1, characterised by the fact that the inner curve has a form of the Grossman type.

9. Spiral selon l'une quelconque des revendications 1 à 8, caractérisé en ce que la courbe à l'intérieur (11) est prolongée par une rondelle autobloquante (17) formée en même temps que la lame et agissant comme une virole pour positionner ledit spiral sur l'axe (9) du balancier (8), permettant ainsi de maîtriser la distance et l'orientation du point d'origine de la spirale d'Archimède par rapport à l'axe de rotation du balancier (8)

9. Balance spring according to any of the claims 1 to 8, characterised by the fact that the inner curve (11) is prolonged by an auto-fastening ring (17) formed at the same time as the strip and acting as a collet to fix the said balance spring to the axis (9) of the balance wheel (8), thus controlling the distance and the orientation of the originating point of the Archimedes spiral in relation to the rotational axis of the balance wheel (8)

10. Spiral selon la revendication 9, caractérisé en ce que la rondelle autobloquante (17) a une épaisseur supérieure à la hauteur "h" de la lame.

10. Balance spring according claim 9, characterised by the fact that the auto fastening ring (17) has a thickness which is greater than the height "h" of the strip.

11. Procédé de fabrication d'un spiral à partir d'une plaquette en un matériau amorphe ou cristallin, ledit spiral étant formé d'une seule lame de section rectangulaire ayant une épaisseur e non uniforme et/ou comportant une ou plusieurs portions de spires conformées en dehors du tracé d'une spirale parfaite caractérisé en ce qu'il consiste à effectuer au moyen d'un masque la gravure de ladite plaquette selon le contour désiré pour le spiral.

11. Process of manufacture of a balance spring from a sheet of amorphous or polycrystalline material, the said spring being formed from a single strip of rectangular section having a thickness e which is non uniform and or having one or more portions of the coils which do not follow the outline of a perfect spiral characterised by the fact that it is achieved by engraving the said sheet by means of a mask according to the

desired outline of the balance spring.

12. Procédé de fabrication d'un spiral en métal ou en alliage formé d'une seule lame de section rectangulaire ayant une épaisseur e non uniforme et/ou comportant une ou plusieurs portions de spires conformées en dehors du tracé d'une spirale parfaite, caractérisé en ce qu'on forme par le procédé LIGA un moule correspondant au contour désiré pour le spiral, et qu'on apporte dans ledit moule le métal ou l'alliage.

12. Process of manufacture of a balance spring in metal or in alloy formed from a single strip of rectangular cross section having a non uniform thickness and or having one or more portions of coils which do not follow the outline of a perfect spiral, characterised in that a mold is shaped by the LIGA process which corresponds to the desired outline of the balance spring, and into the said mold is introduced the metal or alloy.

13. Procédé de fabrication selon la revendication 12, caractérisé en ce que le métal ou l'alliage est apporté par électrodéposition.

13. Process of manufacture according to claim 12, characterised in that the metal or alloy is introduced by electro deposition.

14. Procédé de fabrication selon la revendication 12, caractérisé en ce que le métal ou l'alliage est apporté sous forme de poudre nanoparticulaire comprimée puis frittée.

14. Process of manufacture according to claim 12, characterised in that the metal or alloy is introduced in the form of compressed nanoparticle powder and then sintered.